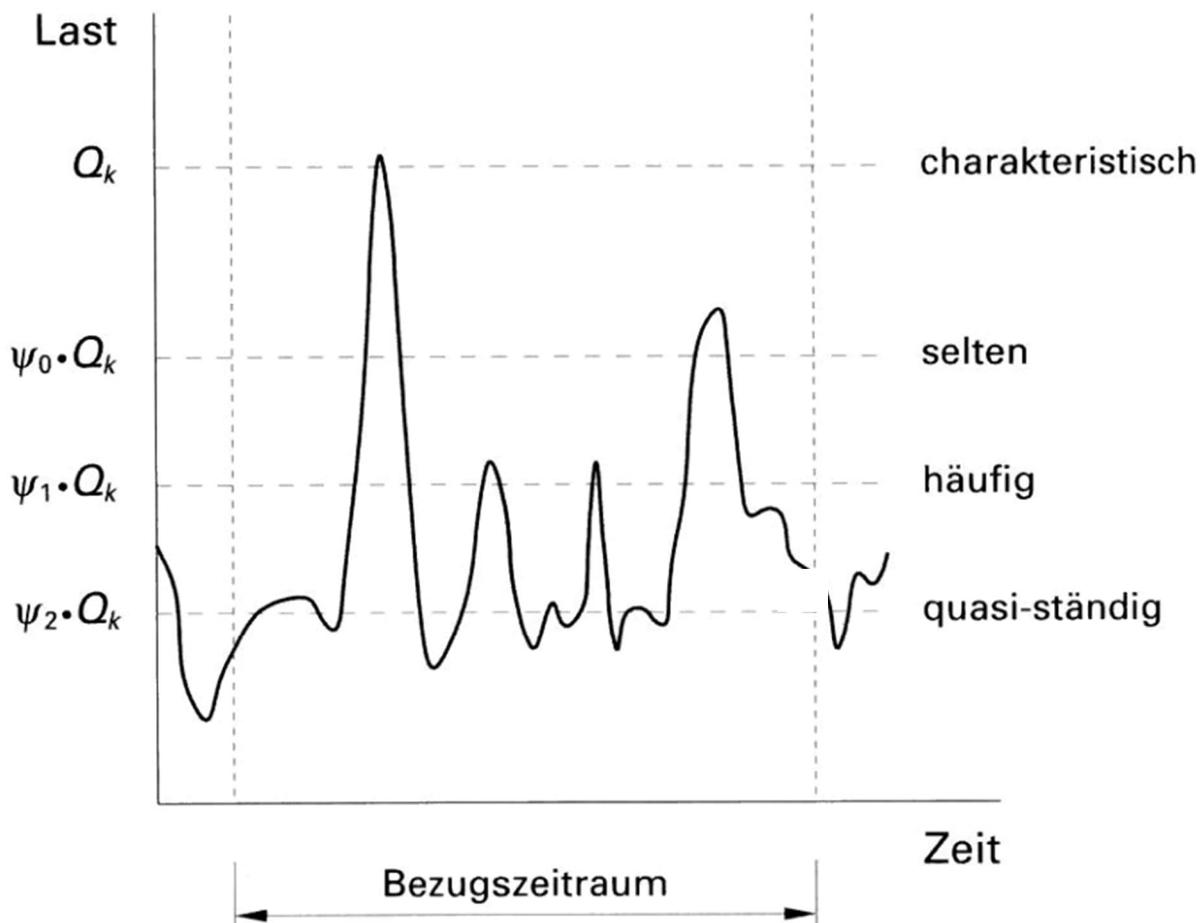


Bestimmung der Lastbeiwerte γ_i

Durchbiegungsnachweis Grundlagen & Anleitung



INHALTSVERZEICHNIS

1	BEGRIFFE	3
2	GRUNDLAGE DER TRAGWERKSANALYSE	4
	2.1 Konzept	4
	2.2 Einwirkungen	4
	2.3 Tragsicherheit	5
	2.4 Gebrauchstauglichkeit	7
3	KRIECHEN	7
	3.1 Grundlagen	7
	3.2 Ständige Lastanteile	8
	3.3 Berechnung am einzelnen Lastfall zum Zeitpunkt $t = \infty$	8
4	BEMESSUNGSSITUATIONEN	10
	4.1 Leiteinwirkungen und Begleiteinwirkungen	10
	4.2 Tragsicherheit TS	10
	4.3 Gebrauchstauglichkeit GT	11
5	LASTBEIWERTE GT - ANWENDUNG IN STAUFFER STATIC	19
	5.1 Anwendung in Stauffer Static – Eigene Berechnung	19
	5.2 Anwendung in Stauffer Static - Lastbeiwert-Tabellen	21
	5.3 Anlehnung an HBStatic	24

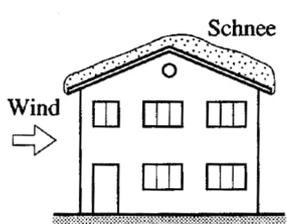
1 Begriffe

Aussergewöhnliche Einwirkung	Einwirkung mit geringer Eintretenswahrscheinlichkeit, in der Regel von kurzer Dauer und beträchtlicher Wirkung
Auflast	Die Auflast in in Staufer Static als ständige Belastung definiert. Sie wird mit dem Indizes «a» angezeigt. Sie beinhaltet alle durch ihr Gewicht auf das Bauteil einwirkende Elemente.
Auswirkungen	Antworten des Tragwerks auf Einwirkungen (Spannungen, Schnittgrössen, Reaktionen, Verformungen, Verschiebungen sowie andere, bauweisenspezifische Auswirkungen)
Begleiteinwirkung	Eine die Leiteinwirkung begleitende Einwirkung
Bemessungssituationen	Physikalische Gegebenheiten und vorliegende Bedingungen innerhalb eines bestimmten Zeitraums für die nachgewiesen wird, dass massgebende Grenzzustände nicht überschritten werden
Bemessungswert	Aus einem charakteristischen oder anderen repräsentativen Wert in Verbindung mit Partial- und Umrechnungsfaktoren bestimmter, allenfalls auch direkt festgelegter, in einen Nachweis eingehender Wert
Bezugszeitraum	Zeitraum für die statische Bestimmung von Einwirkungen
Charakteristischer Wert	In der Regel auf statistischer Basis festgelegter Wert einer Einwirkung, einer geometrischen Grösse respektive einer Baustoff- oder Baugrundeigenschaft (Mittelwert), gegebenenfalls auch Nennwert oder vorsichtiger Erwartungswert. Enthält (noch) keine Faktoren wie Lastbeiwerte
Eigengewicht	Das Eigengewicht in Staufer Static beschreibt das über Volumen und Dichte automatisch berechnete Gewicht des Bauteils. Es wird mit dem Indizes «g» angezeigt
Eigengewicht & Auflast	Summe von Eigengewicht und Auflast und wird mit dem Indizes «g+a» angezeigt
Einwirkung	Mechanische (Lasten, Kräfte), andere physikalische (Temperatur, Feuchtigkeit), chemische (Salze, Säuren und Laugen, organische Verbindungen) und biologische (Bakterien, Insekten, Pilze, Algen) Einwirkungen auf das Tragwerk, resultierend aus der Ausführung und der Nutzung sowie infolge von Umwelteinflüssen
Feuchtklasse	Zuordnung der Holzbauteile aufgrund der mittleren zu erwartenden Holzfeuchte (Ausgleichsfeuchte)
Gebrauchsgrenze	Vereinbarte Grenze der Gebrauchstauglichkeit
Gebrauchstauglichkeit	Fähigkeit eines Tragwerks und weiterer Bauteile, die Funktionstüchtigkeit und das Aussehen des Bauwerks sowie den Komfort der das Bauwerk nutzenden Personen entsprechend den Gebrauchsgrenzen zu gewährleisten
Kriechen	Kriechen beschreibt die Verformungszunahme unter gleichbleibender Belastung über die Zeit
Lastbeiwert	Auch Partialfaktor, welcher der Erhöhung der Lasten zur Berücksichtigung erforderlichen Reserven dient
Leiteinwirkung	Haupteinwirkung in einem Lastfall
Nutzungsdauer	Vereinbarte Zeitspanne ab Inbetriebnahme, während der ein Tragwerk oder ein Bauteil bei Überwachung und Instandhaltung gemäss dem Überwachungsplan und dem Unterhaltsplan wie vorgesehen genutzt werden kann
Ständige Einwirkung	Während des Bezugszeitraums annähernd konstante Einwirkung
Tragsicherheit TS	Fähigkeit eines Tragwerks und seiner Bauteile, die Gesamtstabilität sowie einen für die anzunehmenden Einwirkungen ausreichenden Tragwiderstand entsprechend einer festgelegten, erforderlichen Zuverlässigkeit zu gewährleisten
Veränderliche Einwirkung	Während des Bezugszeitraums nicht ständig vorhandene, nicht konstante Einwirkung
Vorkonditioniertes Holz	Holzbauteil, welches schon vor dem Einbau die erwartete Ausgleichsfeuchte am Einbauort aufweist

2 Grundlage der Tragwerksanalyse

2.1 Konzept

Es gibt grundsätzlich zwei Arten von Bemessungssituationen und beide sind zu prüfen:

<p>Tragsicherheit TS Das Gebäude oder Bauteil versagt nicht und so entsteht keine Gefährdung weder für Personen noch Sachwerte</p> 	<p>Gebrauchstauglichkeit GT Das Gebäude kann dauerhaft so genutzt werden wie es erwartet wird.</p> 
---	---

Die betrachteten Bemessungssituationen sollen alle vorhersehbaren Bedingungen und Einwirkungen einschliessen, die während der Ausführung und der Nutzung auftreten können. Diese Bemessungssituationen werden in andauernde, vorübergehende und aussergewöhnliche Bemessungssituationen unterteilt.

Hinsichtlich Einwirkungsdauer werden drei Arten unterschieden:

- *Andauernde Situation*
Eine Bemessungssituation wird als andauernd bezeichnet, wenn sie während der gesamten Nutzungsdauer eines Tragwerkes auftritt (Standardfall)
- *Vorübergehende Situation*
Diese Bemessungssituation kann nur während einer kurzen Dauer auftreten (z.B. Bauzustand)
- *Aussergewöhnliche Situation*
Diese Situation bezieht sich auf ein aussergewöhnliches Ereignis (z.B. Erdbeben, Brand)

Der Bezugszeitraum für veränderlichen Einwirkungen darf in der Regel zu einem Jahr angenommen werden. Die Nutzungsdauer von Gebäuden von normaler Bedeutung ist als Richtwert mit 50 Jahren angegeben (SIA260:2013 – 2.2.2) und entspricht der Standardbemessungssituationen von Gebäuden.

2.2 Einwirkungen

Die Norm SIA 260 ordnet die Einwirkungen unter anderem nach der zeitlichen Veränderung in:

<p>Ständige Einwirkung «SIA 260: Während des Bezugszeitraums annähernd konstante oder monoton sich ändernde und einem Grenzwert zustrebende Einwirkung.»</p> <p>Konstante Last (Eigengewicht, Auflast)</p>	<p>Veränderliche Einwirkung «SIA 260: Während des Bezugszeitraums nicht ständig vorhandene, nicht konstante oder nicht monoton sich ändernde Einwirkung.»</p> <p>Veränderliche Last (Schnee, Nutzlast, Wind)</p>	<p>Aussergewöhnliche Einwirkung «SIA 260: Einwirkung mit geringer Eintretenswahrscheinlichkeit, in der Regel von kurzer Dauer und beträchtlicher Wirkung</p> <p>Aussergewöhnliche Last (Erdbeben)</p>
--	--	---

Charakteristischer Wert

Bei veränderlichen Einwirkungen wird der Wert in der Regel so festgelegt, dass die Eintretenswahrscheinlichkeit während des Bezugszeitraum (1 Jahr) innerhalb der Nutzungsdauer (50 Jahre) mit einer Wahrscheinlichkeit von 98% eintritt. Dies entspricht einer Wiederkehrperiode von 50 Jahre

Lineare Auflast (charakteristisch) / Punktlast: Auflast (charakteristisch)
Effektive Auflast gemäss Lastzusammenstellung (ohne Lastbeiwerte)

Lineare Nutzlast (charakteristisch) / Punktlast: Nutzlast (charakteristisch)
 Nutzlast z.B. für Wohnen, Büro, etc. (ohne Lastbeiwerte)
 (Nutzlast, welche statistisch gesehen nur 1x alle 50 Jahre erreicht wird)

Lineare Schneelast (charakteristisch) / Punktlast: Schneelast (charakteristisch)
 Schneelast gemäss Vorgaben der SIA 261 (ohne Lastbeiwerte)
 (Schneelast, welche statistisch gesehen nur 1x alle 50 Jahre erreicht wird)

Lineare Windlast (charakteristisch) / Punktlast: Windlast (charakteristisch)
 Windlast gemäss Vorgaben der SIA 261 (ohne Lastbeiwerte)
 (Windlast, welche statistisch gesehen nur 1x alle 50 Jahre erreicht wird)

2.3 Tragsicherheit

Eine Belastung als Einwirkung erzeugt z.B. ein Biegemoment im Balken. Dieses wiederum führt zu einer Biegerandspannung im Balken als Auswirkung. Das Verhältnis Einwirkung zu Auswirkung ist üblicherweise proportional.

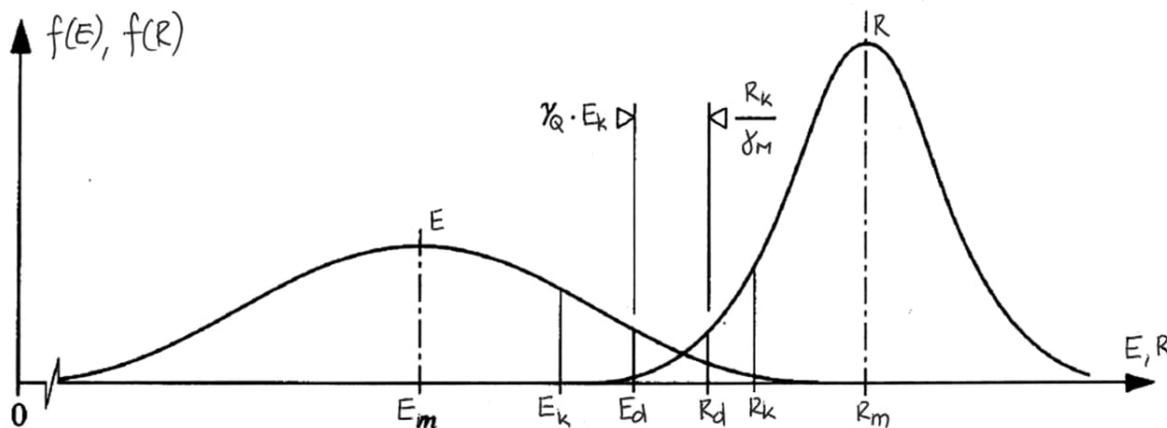
Der Nachweis ist erfüllt, wenn gilt: $E_d \leq R_d$

Auswirkungen «E»

- E_m Mittelwert der Auswirkung
- E_k charakteristischer (oberer) Wert der Auswirkung
- E_d Bemessungswert der Auswirkung
- γ_Q Lastbeiwert für eine veränderliche Auswirkung

Widerstand «R»

- R_m Mittelwert des Tragwiderstandes
- R_k charakteristischer Wert des Tragwiderstandes
- R_d Bemessungswert des Tragwiderstands
- γ_M Widerstandsbeiwert (Material)



Konzept: X-Achse: Auswirkung & Widerstand (z.B. als Biegerandspannung in N/mm^2); Y-Achse: Statistische Häufigkeit

Exemplarische Erklärung: Biegespannung aus Schneelastanteil an Holzbalken

Prinzip

Bei einem grossen Holzbalkendach führt die Schneebelastung als Einwirkung zu einem Biegemoment und als Folge daraus z.B. zu einer Auswirkung inkl. Sicherheitsfaktoren als Biegerandspannung « E_d ». Auf der anderen Seite ist der Widerstand hinsichtlich Biegerandspannung inkl. Sicherheitsfaktoren « R_d » beim Holz beschränkt. Der Nachweis $E_d \leq R_d$ stellt sicher, dass die Biegerandspannungen, welche hier letztlich aus der Einwirkung Schnee entstehen, den Widerstand und damit die Biegefestigkeit « R_d » vom verwendeten Holz nicht überschreiten.

Bemessungswert der Auswirkung E_d

Über Messungen der letzten Jahrzehnte wurden Schneelasten gemessen. Eine Auswertung erlaubt die Bestimmung jener Schneelast, welche statistisch nur einmal alle 50 Jahre am entsprechenden Standort zu erwarten ist. Diese Auswertung ist die Grundlage für die Bestimmung der charakteristischen Schneelasten (Einwirkung) nach SIA261:2020 – 5.2. Als Konsequenz ergibt diese Schneelast (Einwirkung) ein Biegemoment und daraus eine Auswirkung als Biegerandspannung. Dies entspricht symbolisch dem « E_k » in der obigen Grafik und liegt über der durchschnittlichen max. Schneelast pro Winter E_m .

Die Messreihe schaut einige Jahrzehnte zurück. Die heute zu erstellenden Gebäude müssen aber den Belastungen der nächsten 50 Jahre stand halten. Es kann nicht ausgeschlossen werden, dass in Zukunft auch einmal noch mehr Schnee auf den Balken liegt. Um dies mit abzudecken, wird ein zusätzlicher Lastbeiwert « γ_Q » als Sicherheitsfaktor eingeführt.

Mit dem Lastbeiwert « γ_Q » wird nun die nach SIA 261 bestimmte Schneelast so zusätzlich erhöht. Der Wert ist $\gamma_Q = 1.50$, falls Schnee die Leiteinwirkung ist und führt zum Bemessungswert der Einwirkung « E_d ».

Die Einwirkungen E_k werden je nach Lastart gemäss SIA 261 bestimmt. Die Lastbeiwerte respektive Reduktionsbeiwerte $\gamma_{Q,TS}$ werden nach SIA 260 je nach Situation festgelegt.

Bemessungswert des Widerstandes R_d

Beim Material handelt es sich z.B. um Holzbalken der Klasse C24. Jeder Balken hat Äste in unterschiedlicher Grösse und Position. So ist zu erwarten, dass nicht jeder Balken bei genau derselben Biegerandspannung und damit derselben Belastung (resp. Einwirkung) bricht. Über Biegeprüfungen wurden viele Balken geprüft und statistisch ausgewertet.

Da es sich um ein grosses Dach handelt sind sehr viele baugleiche Balken verbaut. Die Wahrscheinlichkeit ist gross, dass einer der Balken im Bereich vom maximalen Moment einen grossen Ast aufweist. Im Gegensatz zur Einwirkungsseite interessiert hier so der untere Grenzwert der im Versuch ermittelten Biegerandspannungen. Dies ist der charakteristische Wert (5%-Fraktilwert) der Biegefestigkeit $f_{m,k}$ oder in der allgemeinen Schreibweise der Grafik « R_k ».

Da es sich hier um die 5%-Fraktile handelt (bei C24 $\rightarrow 24 \text{ N/mm}^2$) würden 5% aller Balken bei dieser Biegespannung brechen. Bei diesem sehr grossen Dach, wäre die Wahrscheinlichkeit hoch, dass dies zum Bruch einiger weniger Balken führen würde, sollte die Einwirkung « E_d » tatsächlich im Verlauf der nächsten 50 Jahre auftreten.

Um diese Situation zu berücksichtigen wird der charakteristischen Wert (5%-Fraktilwert) der Biegefestigkeit $f_{m,k}$ um den Widerstandsbeiwert « γ_M » (Materialseite) abgemindert. Der Wert ist $\gamma_M = 1.70$ für C24 und führt zum Bemessungswert der Biegefestigkeit $f_{m,d}$ (14.1 N/mm^2) oder in allgemeiner Schreibweise der Grafik « R_d »

Die Widerstände R_d (respektive $f_{m,d}$, $f_{c,0,d}$, etc.) werden direkt von der SIA 265 vorgegeben. Die γ_M -Faktoren sind hier enthalten.

2.4 Gebrauchstauglichkeit

Das Grundprinzip ist ähnlich wie bei der Tragsicherheit:

Der Nachweis ist erfüllt, wenn gilt: $E_d \leq C_d$ C_d = Bemessungswert einer Gebrauchsgrenze

Exemplarische Erklärung: Verformung aus Schneelastanteil an Holzbalken

Prinzip

Bei dem Holzbalkendach führt die Schneebelastung als Einwirkung zu einer Auswirkung als Verformung E_d .

An die Verformungen eines Tragwerks werden Anforderungen vor allem als Durchbiegungsanforderungen hinsichtlich Funktionstüchtigkeit und Aussehen gestellt. Dies stellt die Gebrauchsgrenze C_d dar. Es wird bei diesem Beispiel vom Holzbalkendach angenommen, dass keine Einbauten wie Zwischenwände etc. vorhanden, welche durch diese Durchbiegung tangiert werden.

Der Nachweis $E_d \leq C_d$ stellt sicher, dass die Verformungen auf ein Mass begrenzt werden, welche den Gebrauch respektive die Nutzung des Gebäudes nicht beeinträchtigen.

Bemessungswert der Auswirkung E_d

Die Auswirkung E_d (Verformung) wird nicht mit einem Lastbeiwert erhöht, sondern geht charakteristisch in den Nachweis ein oder wird sogar reduziert (Reduktionsbeiwerte).

Die Materialeigenschaften werden ebenfalls nicht mit einem Widerstandsbeiwert reduziert, sondern es werden die Mittelwerte berücksichtigt (z.B. Mittleres Elastizitätsmodul $E_{m,mean}$). Es wird nachgewiesen, dass die durchschnittliche Verformung der Holzbalken nicht zu gross ist.

Die Einwirkungen E_k werden je nach Lastart gemäss SIA 261 bestimmt. Die Lastbeiwerte respektive Reduktionsbeiwerte $\gamma_{Q,GT}$ werden nach SIA 260 je nach Situation festgelegt.

Bemessungswert der Gebrauchsgrenze C_d

Es sind keine Einbauten wie Zwischenwände etc. vorhanden. Es ist so das Kriterium «Aussehen» und damit als Richtwert der Durchbiegung C_d die Anforderung $w \leq l/300$ inkl. Kriechen nachzuweisen.

Die Gebrauchsgrenzen C_d werden auf der Grundlage von der SIA 260 – Anhang A oder der HBT1:2021 - S.13 bestimmt.

3 Kriechen

3.1 Grundlagen

Kriechen beschreibt die Verformungszunahme unter gleichbleibender Belastung über die Zeit. Dieser zusätzliche Verformungsanteil muss bei den Verformungsnachweisen berücksichtigt werden.

Die Kriechverformungen stellen sich über einen Zeitraum von ca. 30 Jahren ein. Die in der SIA 265 vorgegebenen Kriechzahlen beschreiben die relative Verformungszunahme bei einer ständig vorhandenen Belastung über diesen Zeitraum.

Je höher die Holzfeuchten im Holz bei Biegebeanspruchung ist, desto grösser werden diese Kriechverformungen. Die geringsten Kriechverformungen ergeben sich, wenn trockenes Holz im Innenbereich verbaut wird und damit die Holzfeuchte ständig niedrig und die Holzfeuchteschwankung unter Belastung während der Nutzung minimiert ist.

Wird ein Bauteil im Aussenbereich verbaut, ergibt sich eine höhere Ausgleichsfeuchte über gesamte Nutzungsdauer und damit grössere Kriechverformungen. Wenn das Bauteil mit einer erhöhten Holzfeuchte im Innenbereich verbaut wird, ergeben sich erhöhte Kriechverformungen bis sich die tiefere Ausgleichsfeuchte im Innenbereich eingestellt hat.

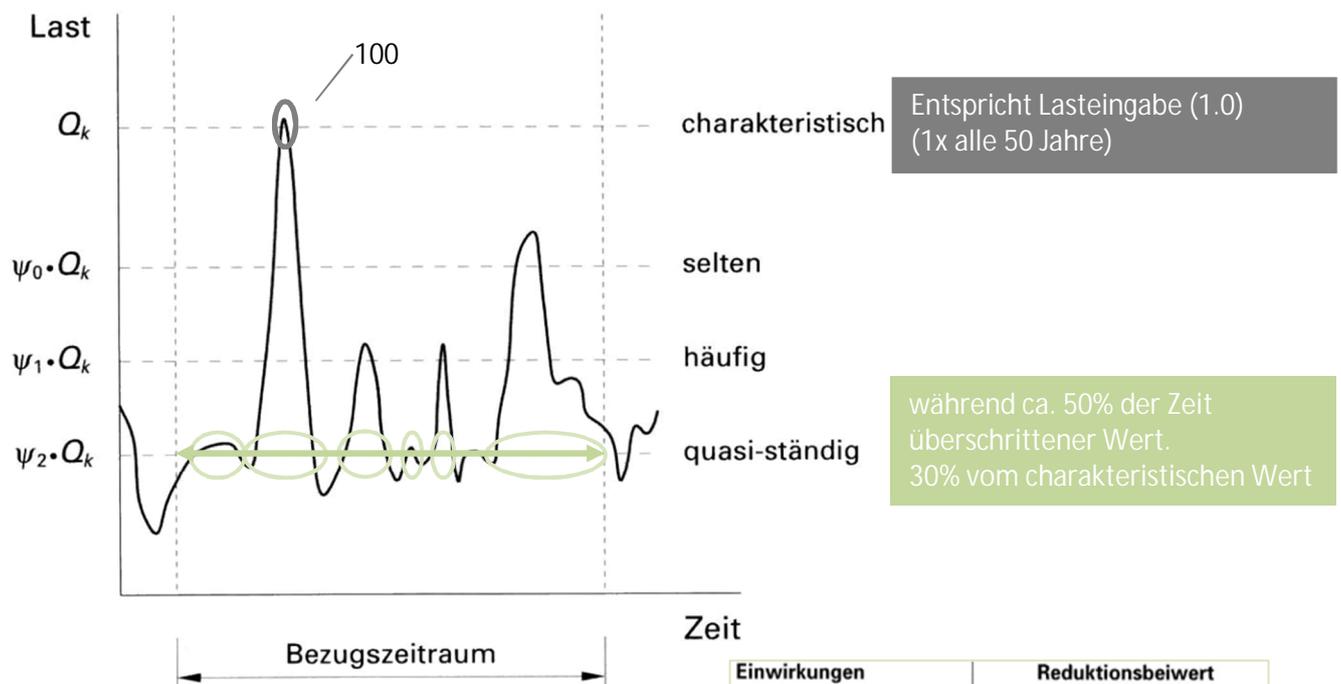
Beispiel: Wenn sich ein Balken ($u=12\% \rightarrow$ vorkonditioniert für Feuchteklasse 1) unmittelbar nach dem Aufbringen einer ständigen Belastung mit $w_0=10\text{mm}$ durchbiegt, würden man im Wohnraumklima (\rightarrow Feuchteklasse 1 $\rightarrow \varphi=0.60$) eine Durchbiegung von $w_\infty = (1+\varphi) \times w_0 = 16\text{mm}$ erwarten.

3.2 Ständige Lastanteile

Die Kriechverformungen stellen sich nur für die ständig vorhandenen Lastanteile in vollem Umfang ein. Dies ist für Eigengewicht und Auflast der Fall. Bei Schnee im Flachland ist die Liegedauer so kurz, dass sich daraus keine relevanten Kriechverformungen ergeben.

Bei Gebäudenutzung ist aber nur ein Anteil der Nutzlast ständig vorhanden, welche zu Kriechverformungen führt (z.B. Möblierung). Diese Anteile sind in den Verformungsberechnungen zu berücksichtigen.

Die Lasten werden als charakteristische Last im **Stauffer Static** eingegeben. Bei Nutzlast Kat.A beispielsweise, ist der ständige Anteil durch die ψ_2 -Reduktionsbeiwerte (HBT1-2021: S.13) mit 0.30 festgelegt. Man geht also davon aus, dass 30% der Last von 2.0 kN/m^2 ($= 0.60 \text{ kN/m}^2$) quasi ständig vorhanden ist:



Grafik ergänzt aus: HBT1:2021 - S.10

Einwirkungen	Reduktionsbeiwert		
	ψ_0 selten	ψ_1 häufig	ψ_2 quasi-ständig
Nutzlasten in Gebäuden			
- Kat. A Wohnflächen	0,7	0,5	0,3

Grafik: Ausschnitt aus HBT1:2021 - S10

3.3 Berechnung am einzelnen Lastfall zum Zeitpunkt $t = \infty$

Fall 1 – Es sind nur ständige und quasi-ständige Anteile im Lastfall enthalten / zu berücksichtigen
Die Kriechverformungen infolge der ständigen Einwirkungen und der quasi-ständigen Anteile veränderlicher Einwirkungen dürfen näherungsweise als das φ -Fache der entsprechenden elastischen Anfangsverformungen w_0 bestimmt werden.

Die Langzeitverformung w_∞ ergibt sich folglich zu:

$$w_\infty = (1 + \varphi) * w_0$$

- w_∞ Langzeitverformung zum Zeitpunkt $t = \infty$
- w_0 Elastische Verformung zum Zeitpunkt $t = 0$
- φ Kriechzahl

Fall 2 – Es sind zusätzlich zu Fall 1 auch nicht kriechwirksame Anteile im Lastfall enthalten / zu berücksichtigen
 Bei veränderlichen Einwirkungen ist nicht der volle Wert andauernd wirkend und damit kriechwirksam, sondern nur ein Anteil in der Grösse des quasi-ständigen Wertes, also der mit dem Reduktionsbeiwert ψ_2 verminderte charakteristische Wert.

Bei der Ermittlung der Kriechverformung kann dies wie folgt berücksichtigt werden (HBT1:2021-S.26)

$$w_{\infty} = \left(1 + \varphi * \frac{F_{d,\varphi}}{F_d}\right) \cdot w_0 \quad \text{oder} \quad w_{\infty} = k \cdot w_0$$

$F_{d,\varphi}$ kriechwirksamer Anteil der Einwirkungen in der Verformungsberechnung

F_d Einwirkungen in der Verformungsberechnung

k Kriechfaktor (globaler, ersetzt Klammerausdruck)

Fall 3 - **Stauffer Static** basierend auf Fall 2

In **Stauffer Static** werden die Faktoren pro Lastart Eigengewicht & Auflast, Nutzlast, Schnee und Wind bestimmt und nicht als globaler Kriechfaktor «k» über die gesamte Bemessungssituation.

Nutzlast Kat. A $q_p = 2.0 \text{ kN/m}^2$ wird beispielsweise als charakteristischer Wert eingegeben. Dieser Wert fliesst voll in die Verformungsberechnung ein unter der Annahme, dass $w \leq l/500$ gefordert wird und diese Nutzlast die veränderliche Leiteinwirkung ist.

Kriechwirksam ist bei Kat. A der quasi-ständige Wert mit 30% oder 0.3 gemäss der Tabelle der Reduktionsbeiwerte.

Damit wird für diesen Fall mit Nutzlast als Leiteinwirkung:

$$F_{d,\varphi} = \psi_2 \cdot q_p = 0.3 \cdot q_p \quad \text{und} \quad F_d = 1.0 \cdot q_p.$$

$$w_{\infty} = \left(1 + \varphi * \frac{\psi_2 \cdot q_p}{1.0 \cdot q_p}\right) \cdot w_0 \quad \text{nach dem Kürzen} \quad w_{\infty} = \left(1 + \varphi * \frac{\psi_2}{1.0}\right) \cdot w_0$$

Wenn vorkonditioniertes Holz im Innenraum (Feuchtekategorie 1) verwendet wird, ist die Kriechzahl $\varphi = 0.6$ (HBT1-2021: S.27) und damit wird:

$$w_{\infty} = \left(1 + 0.6 * \frac{0.3}{1.0}\right) \cdot w_0 \quad w_{\infty} = 1.18 \cdot w_0$$

Abweichend davon muss nur der um den Faktor ψ_0 reduzierte Anteil der Belastung berücksichtigt werden, wenn die Nutzlast eine Begleiteinwirkung in der betrachteten Bemessungssituation ist.

Damit wird für diesen Fall mit Nutzlast als Begleiteinwirkung

$$F_{d,\varphi} = \psi_2 \cdot q_p = 0.3 \cdot q_p \quad \text{und} \quad F_d = \psi_0 \cdot q_p$$

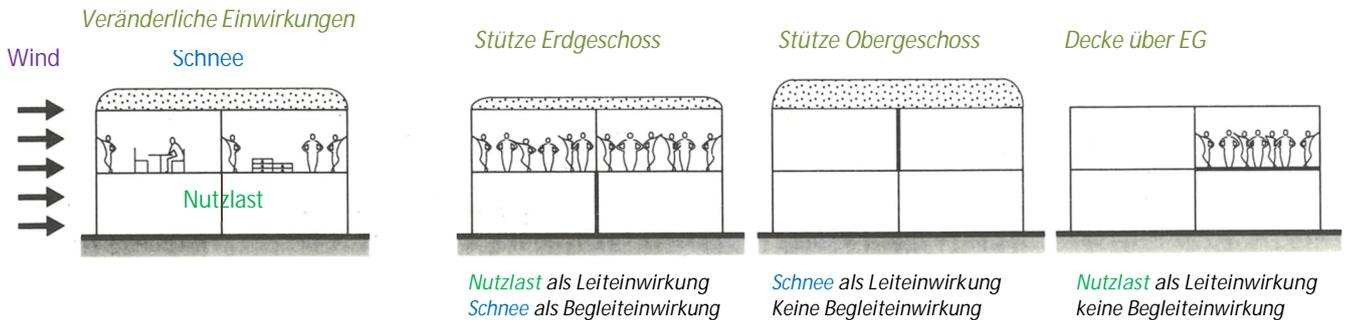
$$w_{\infty} = \left(1 + \varphi * \frac{\psi_2 \cdot q_p}{\psi_0 \cdot q_p}\right) \cdot (\psi_0 \cdot w_0) \quad \text{nach dem Kürzen} \quad w_{\infty} = \left(1 + \varphi * \frac{\psi_2}{\psi_0}\right) \cdot \psi_0 \cdot w_0$$

Wenn vorkonditioniertes Holz im Innenraum (Feuchtekategorie 1) verwendet wird, ist die Kriechzahl $\varphi = 0.6$. Der Reduktionsbeiwert ψ_0 kann gemäss Tabelle der HBT1:2021-S.13 bestimmt werden (Kat.A $\rightarrow 0.70$) und damit wird:

$$w_{\infty} = \left(1 + 0.6 * \frac{0.3}{0.7}\right) \cdot 0.7 \cdot w_0 \quad w_{\infty} = 0.88 \cdot w_0$$

4 Bemessungssituationen

4.1 Leiteinwirkungen und Begleiteinwirkungen



Zusammenwirken am Beispiel von Schnee und Wind:

Mehrere veränderliche Einwirkungen wirken nicht gleichzeitig mit ihrer maximalen Stärke. So sorgte der Lawinenwinter im Februar 1999 für maximale Schneelast, während der Orkan «Lothar» Ende 1999 bei geringen Schneehöhen für maximale Windlasten sorgte.

In einer ersten Bemessungssituation wird der «zukünftige Lawinenwinter» simuliert. Das Eigengewicht und die Auflast wird zusammen mit der maximalen Schneelast angesetzt. Da es im Winter auch stürmen kann, ist zusätzlich eine reduzierte Windlast anzusetzen, falls diese massgeblich wird. **Schnee** wird als **Leiteinwirkung**, der reduzierte **Wind** als **Begleiteinwirkung** berücksichtigt.

In einer zweiten Bemessungssituation der «zukünftige Lothar» simuliert. Das Eigengewicht und die Auflast wird zusammen mit der maximalen Windlast angesetzt. Falls dieser wieder im Winter stattfindet würde, setzt man zusätzlich eine reduzierte Schneelast an, falls diese massgeblich wird. **Wind** wird als **Leiteinwirkung**, der reduzierte **Schnee** als **Begleiteinwirkung** berücksichtigt.

Diese Überlegungen fließen sowohl in die Tragsicherheits- als auch die Gebrauchstauglichkeitsnachweise ein. Zusätzlich kann die massgebliche Situation von Bauteil zu Bauteil unterschiedlich sein (Grafik oben).

4.2 Tragsicherheit TS

Die allgemeine Formel für die Kombination der Bemessungssituationen lautet:

$$Q_{Ed} = \gamma_G \cdot G_{ki} + \gamma_{Q1} \cdot Q_{k1} + \psi_{0i} \cdot Q_{ki}$$

Eigengewicht & Auflast
Leiteinwirkung
Begleiteinwirkung

Die Lastbeiwerte für Eigengewicht & Auflast und Leiteinwirkung werden nach SIA 260:2013-Tabelle 1 festgelegt. Die Lastbeiwerte für Begleiteinwirkungen entsprechen den ψ_0 -Reduktionsbeiwerte nach SIA 260:2013-Tabelle 2. Relevant für Gebäude werden:

Lastbeiwerte für den Nachweis der Tragsicherheit		
Einwirkungen	γ_F	Grenzzustand Typ 2
Ständige Einwirkungen		
- ungünstig wirkend	$\gamma_{G,sup}$	1.35
- günstig wirkend	$\gamma_{G,inf}$	0.80
Veränderliche Einwirkungen		
- im allgemeinen	γ_Q	1.50

Grafik oben: Auszug aus: SIA 260:2013 – Tabelle 1

Grafik rechts: Ausschnitt aus HBT1:2021 – S.10

Einwirkungen	Reduktionsbeiwerte für Gebäude		
	ψ_0 selten	ψ_1 häufig	ψ_2 quasi-ständig
Nutzlasten in Gebäuden			
- Kat. A Wohnflächen	0,7	0,5	0,3
- Kat. B Büroflächen	0,7	0,5	0,3
- Kat. C Versammlungs-räume	0,7	0,7	0,6
- Kat. D Verkaufsflächen	0,7	0,7	0,6
- Kat. E Lagerflächen	1,0	0,9	0,8
Verkehrslasten in Gebäuden			
- Kat. F Fahrzeuge unter 3,5 t	0,7	0,7	0,6
- Kat. G Fahrzeuge von 3,5 bis 16 t	0,7	0,5	0,3
- Kat. H Dächer	0	0	0
Schneelasten	$1-60/h_0$ ¹⁾	$1-250/h_0$ ¹⁾	$1-1000/h_0$ ¹⁾
Windkräfte	0,6	0,5	0
Temperatur-einwirkungen	0,6	0,5	0

¹⁾ Werte nicht negativ, Bezugshöhe h_0 in m.

In der Schreibweise von **Staufer Static** wird am folgenden Beispiel:

- Linienlast
- Eigengewicht & Auflast «ungünstig» wirkend
- Leiteinwirkung Schnee
- Begleiteinwirkung Wind

$$q_{Ed} = \gamma_{g+a,TS} \cdot q_a + \gamma_{s,TS} \cdot q_s + \gamma_{w,TS} \cdot q_w = 1.35 \cdot q_a + 1.50 \cdot q_s + 0.60 \cdot q_w$$

4.3 Gebrauchstauglichkeit GT

4.3.1 Bemessungssituationen

Hinsichtlich Gebrauchstauglichkeitsnachweis wird in **Staufer Static** ein Durchbiegungsnachweis durchgeführt. Die SIA 260:2013-Tabelle 3 gibt Richtwerte für Durchbiegungen von fünf Bemessungssituationen vor. «Komfort» und «Nutzung und Betrieb» wurden in der HBT1:2021-S.13 zusammengefasst.

Der Nachweis «Komfort GT-3» deckt den Nachweis für ein zufriedenstellendes Schwingungsverhalten nicht ab. Als weiterführende Abschätzung dienen die Nachweise nach HBT:2021-S.46ff.

Im Vordergrund stehen somit die Durchbiegungsnachweise der Bemessungssituationen der Gebrauchstauglichkeit GT «Durchbiegung» GT-1, GT-2 und GT-4:

Übersicht zur Kombination der Lastfälle mit den Grenzwerten in verschiedenen Grenzzuständen nach Norm SIA 260 für die Durchbiegung von Decken und Balken in Gebäuden		
Grenzzustand	Massgebender Lastfall ^{1) 2)}	Richtwert für die Durchbiegung
Funktionstüchtigkeit GT-1 bei Tragwerken mit verformungsempfindlichen Einbauten Irreversible Folgen einer Auswirkung infolge eines selteneren Lastfalls	$Q_{Ed} = G_{ki} + Q_{k1} + \psi_{0i} \cdot Q_{ki}$	– nach Abzug der Überhöhung – inkl. Langzeitwirkung (Kriechen) $w \leq \frac{l}{500}$ – nach Einbau der relevanten nichttragenden Bauteile – es sind auch konstruktive Massnahmen vorzusehen
Funktionstüchtigkeit GT-2 bei Tragwerken mit nicht verformungsempfindlichen Einbauten Reversible Folgen einer Auswirkung infolge eines häufigen Lastfalls	$Q_{Ed} = G_{ki} + \psi_{1i} \cdot Q_{k1} + \psi_{2i} \cdot Q_{ki}$	– nach Abzug der Überhöhung – inkl. Langzeitwirkung (Kriechen) $w \leq \frac{l}{350}$ – nach Einbau der relevanten nichttragenden Bauteile
Komfort/Funktionstüchtigkeit GT-3 Reversible Folgen einer Auswirkung infolge veränderlicher Einwirkungen eines häufigen Lastfalls	$Q_{Ed} = \psi_{1i} \cdot Q_{k1} + \psi_{2i} \cdot Q_{ki}$	$w \leq \frac{l}{350}$
Aussehen GT-4 Reversible Folgen einer Auswirkung infolge eines quasi-ständigen Lastfalls	$Q_{Ed} = G_{ki} + \psi_{2i} \cdot Q_{ki}$	$w \leq \frac{l}{300}$ – nach Abzug der Überhöhung – inkl. Langzeitwirkung (Kriechen)

G_{ki} Ständige Einwirkungen (z. B. Eigenlast, Auflasten)

Q_{k1} Veränderliche Leiteinwirkung (z. B. Nutzlast)

Q_{ki} Veränderliche Einwirkungen bzw. veränderliche Begleiteinwirkungen (z. B. Nutzlast, Schnee, Wind usw.)

¹⁾ Die Vorspannkräfte P_k wurden zur übersichtlicheren Darstellung weggelassen.

²⁾ Ergebnis: Bemessungswert der Einwirkung als Einzelast Q_{Ed} in kN, als Flächenlast q_{Ed} in kN/m², als Streckenlast q'_{Ed} in kN/m.

HBT1:2021 - S.13

4.3.2 Bemessungssituation GT-1

- Richtwert der Durchbiegung $w \leq l/500$
- Funktionstüchtigkeit bei Tragwerken mit verformungsempfindlichen Einbauten
- Irreversible Folgen einer Auswirkung infolge eines seltenen Lastfalls / Lastkombination

Situationen, welche mit GT-1 abgedeckt werden, können als beispielsweise sein:

Bauteil verformungsempfindliche Einbaute	Prüfung Beispiel	Irreversible Folgen Funktionsverlust	Massnahmen / Bemerkung Last aufbringen: z.B. Begrünung / Unterlagsboden)
Fenster	Durchbiegung Fenstersturz	- Glasbruch	Last aufbringen, bevor Fensterrahmen fertig nach oben verschraubt wird
Hebeschiebetüren	Durchbiegung Sturz	- Glasbruch - Beschläge defekt	Last aufbringen, bevor definitive Montage / Einstellungen erfolgt
Verputzte Oberflächen	Durchbiegung Sparren	- Sichtbare Risse in der Oberfläche	Last aufbringen, bevor die Gipsfaserplatten montiert werden

Einwirkung der Bemessungssituation

Die allgemeine Formel für die Kombination der Bemessungssituationen GT-1, seiner Lastbeiwerte und damit der Bemessungs-Einwirkung lautet:

$$Q_{Ed} = G_{ki} + Q_{k1} + \psi_{0i} \cdot Q_{ki}$$

Eigengewicht und Auflast

Leiteinwirkung

Begleiteinwirkung(en)

Lastbeiwerte für Eigengewicht & Auflast und Leiteinwirkung sind in der Formel nicht enthalten und werden so gedanklich zu 1.0 gesetzt:

$$Q_{Ed} = \gamma_G \cdot G_{ki} + \gamma_{Q1} \cdot Q_{k1} + \psi_{0i} \cdot Q_{ki} = Q_{Ed} = 1.0 \cdot G_{ki} + 1.0 \cdot Q_{k1} + \psi_{0i} \cdot Q_{ki}$$

In der Schreibweise von **Stauffe**r **Static** am folgenden Beispiel:

- Linienlast
- Eigengewicht & Auflast
- Leiteinwirkung Nutzlast
- Begleiteinwirkung Schnee ($h_0 = 600 \text{ mÜM} \rightarrow \psi_0 = 0.90$)

$$q_{Ed} = 1.0 \cdot q_a + 1.0 \cdot q_p + 0.90 \cdot q_s$$

In der statischen Berechnung nach **Stauffe**r **Static** wird 1.Ordnung gerechnet. Es besteht so ein linearer Zusammenhang zwischen der Einwirkung q_a (Last aus Eigengewicht & Auflast) und der zugehörigen Durchbiegung w_{0,q_a} , etc. Dies gilt auch für das Verhältnis von q_{aEd} und der Durchbiegung w_0 .

Damit wird die «Elastische Verformung» w_0 zum Zeitpunkt $t=0$ (ohne Kriechen):

$$w_0 = 1.0 \cdot w_{0,q_a} + 1.0 \cdot w_{0,q_p} + 0.90 \cdot w_{0,q_s}$$

Die Lastbeiwerte für Begleiteinwirkungen entsprechen den ψ_0 -Reduktionsbeiwerte nach SIA 260:2013-Tabelle 2:

Reduktionsbeiwerte für Gebäude			
Einwirkungen	Reduktionsbeiwert		
	ψ_0 selten	ψ_1 häufig	ψ_2 quasi-ständig
Nutzlasten in Gebäuden			
- Kat. A Wohnflächen	0,7	0,5	0,3
- Kat. B Büroflächen	0,7	0,5	0,3
- Kat. C Versammlungsräume	0,7	0,7	0,6
- Kat. D Verkaufsflächen	0,7	0,7	0,6
- Kat. E Lagerflächen	1,0	0,9	0,8
Verkehrslasten in Gebäuden			
- Kat. F Fahrzeuge unter 3,5 t	0,7	0,7	0,6
- Kat. G Fahrzeuge von 3,5 bis 16 t	0,7	0,5	0,3
- Kat. H Dächer	0	0	0
Schneelasten	$1-60/h_0^{1)}$	$1-250/h_0^{1)}$	$1-1000/h_0^{1)}$
Windkräfte	0,6	0,5	0
Temperatur- einwirkungen	0,6	0,5	0

¹⁾ Werte nicht negativ, Bezugshöhe h_0 in m.

Tabelle aus HBT1:2021 – S.13

Berücksichtigung des Kriechanteils

Für jeden Lastfall $g+a$, p , und s müssen die Kriechanteile bestimmt werden. Diese werden als Erhöhungsfaktor der Durchbiegung zum Zeitpunkt $t=0$ berechnet.

Annahmen zum Beispiel:

Bauteil wird im Innenbereich eingesetzt und weist beim Einbau eine Holzfeuchte von 12% auf.

- Feuchtekategorie 1
- Auf Gebrauchsfeuchte vorkonditioniert
- ➔ Kriechzahl $\varphi = 0.60$

Eigengewicht und Auflast

Eigengewicht und Auflast sind ständig vorhanden und werden nicht reduziert.

Der Faktor inkl. Kriechanteil wird so wie folgt bestimmt:

$$w_{\infty,qa} = (1 + \varphi) \cdot w_{0,qa} \qquad w_{\infty,qa} = (1 + 0.60) \cdot w_{0,qa} \qquad w_{\infty,qa} = 1.60 \cdot w_{0,qa}$$

Nutzlast als Leiteinwirkung

Bei Nutzlast Kat. A wirkt ein Anteil von 0.3 ständig, beziehungsweise kriechwirksam:

Der Faktor inkl. Kriechanteil wird so wie folgt bestimmt:

$$w_{\infty,qp} = \left(1 + \varphi \cdot \frac{\psi_2 \cdot q_p}{1.0 \cdot q_p}\right) \cdot w_{0,qp} \qquad w_{\infty,qp} = \left(1 + 0.60 \cdot \frac{0.3 \cdot q_p}{1.0 \cdot q_p}\right) \cdot w_{0,qp} \qquad w_{\infty,qp} = 1.18 \cdot w_{0,qp}$$

Schnee als Begleiteinwirkung

Bei Schnee ($h_0 < 1000$ müM) ist der ständige Anteil 0 und somit ergibt sich aus Kriechen keine relevante Erhöhung der Durchbiegung:

Der Faktor inkl. Kriechanteil wird so wie folgt bestimmt:

$$w_{\infty,qs} = \left(1 + \varphi \cdot \frac{\psi_2 \cdot q_s}{\psi_0 \cdot q_s}\right) \cdot w_{0,qs} \qquad w_{\infty,qs} = \left(1 + 0.60 \cdot \frac{0.0 \cdot q_s}{0.9 \cdot q_s}\right) \cdot w_{0,qs} \qquad w_{\infty,qs} = 1.00 \cdot w_{0,qs}$$

Kombination Lastbeiwerte mit Kriechanteil

Da ein linearer Zusammenhang besteht, können die Lastbeiwerte der Bemessungssituation GT-1 direkt mit den Erhöhungsfaktoren kombiniert werden:

Ausgangslage: Zeitpunkt $t = 0$

$$w_0 = 1.0 \cdot w_{0.qa} + 1.0 \cdot w_{0.qp} + 0.90 \cdot w_{0.qs}$$

Zum Zeitpunkt $t = \infty$

$$w_\infty = 1.0 \cdot w_{\infty.qa} + 1.0 \cdot w_{\infty.qp} + 0.90 \cdot w_{\infty.qs}$$

$$w_\infty = 1.0 \cdot 1.60 \cdot w_{0.qa} + 1.0 \cdot 1.18 \cdot w_{0.qp} + 0.90 \cdot 1.00 \cdot w_{0.qs} \quad w_\infty = 1.60 + 1.18 \cdot w_{0.qp} + 0.90 \cdot w_{0.qs}$$

In der Schreibweise von Stauffer Static werden die Lastbeiwerte für diese Bemessungssituation wie folgt gewählt:

$$w_\infty = \gamma_{g+a,GT} \cdot w_{0.qa} + \gamma_{p,GT} \cdot w_{0.qp} + \gamma_{s,GT} \cdot w_{0.qs} \quad w_\infty = 1.60 \cdot w_{0.qa} + 1.18 \cdot w_{0.qp} + 0.90 \cdot w_{0.qs}$$

Gebrauchstauglichkeit

ⓘ inkl. Kriechanteile

Durchbiegungsanforderung

1 / 500 ⓘ

Lastbeiwerte

$\gamma_{g+a,GT}$	1.60	ⓘ
$\gamma_{p,GT}$	1.18	ⓘ
$\gamma_{s,GT}$	0.90	ⓘ ⓘ

Diese Faktoren werden nun im Menu «Faktoren & Anforderungen» erfasst. Dabei wird die Durchbiegung aus der eingegebenen Belastung linear mit dem entsprechenden Faktor multipliziert.

Anschliessend wird das Resultat mit den entsprechenden Spannweiten abgeglichen und geprüft ob auf der Basis dieser Bemessungssituation der Richtwert der Durchbiegung von $w_\infty \leq l/500$ eingehalten ist.

4.3.3 Bemessungssituation GT-2

- Richtwert der Durchbiegung $w \leq l/350$
- Funktionstüchtigkeit bei Tragwerken mit nicht verformungsempfindlichen Einbauten
- Reversible Folgen einer Auswirkung infolge eines häufigen Lastfalls / Lastkombination

Situationen, welche mit GT-2 abgedeckt werden, können beispielsweise sein:

Bauteil verformungsempfindliche Einbaute	Prüfung Beispiel	Reversible Folgen ohne Funktionsverlust	Massnahmen / Bemerkung
Schiebetor	Durchbiegung Sturz	- Tor streift kurzfristig	

Einwirkung der Bemessungssituation

Die allgemeine Formel für die Kombination der Bemessungssituationen GT-2, seiner Lastbeiwerte und damit der Bemessungs-Einwirkung lautet:

$$Q_{Ed} = G_{ki} + \psi_1 \cdot Q_{k1} + \psi_{2i} \cdot Q_{ki}$$

Eigengewicht und Auflast

Leiteinwirkung

Begleiteinwirkung(en)

Lastbeiwerte für Eigengewicht & Auflast sind in der Formel nicht enthalten und werden so gedanklich zu 1.0 gesetzt:

$$Q_{Ed} = \gamma_G \cdot G_{ki} + \psi_1 \cdot Q_{k1} + \psi_{2i} \cdot Q_{ki} = Q_{Ed} = 1.0 \cdot G_{ki} + \psi_1 \cdot Q_{k1} + \psi_{2i} \cdot Q_{ki}$$

In der Schreibweise von **Staufer Static** am folgenden Beispiel:

- Linienlast
- Eigengewicht & Auflast
- Leiteinwirkung Nutzlast ($\psi_1 = 0.50$)
- Begleiteinwirkung Schnee ($h_0 = 600 \text{ mÜM} \rightarrow \psi_2 = 0$)

$$q_{Ed} = 1.0 \cdot q_a + 0.5 \cdot q_p + 0.0 \cdot q_s$$

In der statischen Berechnung nach **Staufer Static** wird 1. Ordnung gerechnet. Es besteht so ein linearer Zusammenhang zwischen der Einwirkung q_a (Last aus Eigengewicht & Auflast) und der zugehörigen Durchbiegung w_{0,q_a} , etc. Dies gilt auch für das Verhältnis von q_{aEd} und der Durchbiegung w_0 .

Damit wird die «Elastische Verformung» w_0 zum Zeitpunkt $t=0$ (ohne Kriechen):

$$w_0 = 1.0 \cdot w_{0,q_a} + 0.5 \cdot w_{0,q_p} + 0.0 \cdot w_{0,q_s}$$

Die Lastbeiwerte für Begleiteinwirkungen entsprechen den ψ_0 und ψ_1 - Reduktionsbeiwerte nach SIA 260:2013-Tabelle 2:

Reduktionsbeiwerte für Gebäude			
Einwirkungen	Reduktionsbeiwert		
	ψ_0 selten	ψ_1 häufig	ψ_2 quasi-ständig
Nutzlasten in Gebäuden			
- Kat. A Wohnflächen	0,7	0,5	0,3
- Kat. B Büroflächen	0,7	0,5	0,3
- Kat. C Versammlungsräume	0,7	0,7	0,6
- Kat. D Verkaufsflächen	0,7	0,7	0,6
- Kat. E Lagerflächen	1,0	0,9	0,8
Verkehrslasten in Gebäuden			
- Kat. F Fahrzeuge unter 3,5 t	0,7	0,7	0,6
- Kat. G Fahrzeuge von 3,5 bis 16 t	0,7	0,5	0,3
- Kat. H Dächer	0	0	0
Schneelasten	$1-60/h_0^{1)}$	$1-250/h_0^{1)}$	$1-1000/h_0^{1)}$
Windkräfte	0,6	0,5	0
Temperatureinwirkungen	0,6	0,5	0

¹⁾ Werte nicht negativ, Bezugshöhe h_0 in m.

Tabelle aus HBT1:2021 – S.13

Berücksichtigung des Kriechanteils

Für jeden Lastfall $g+a$, p , und s müssen die Kriechanteile bestimmt werden. Diese werden als Erhöhungsfaktor der Durchbiegung zum Zeitpunkt $t=0$ berechnet.

Annahmen zum Beispiel:

Bauteil wird im Innenbereich eingesetzt und weist beim Einbau eine Holzfeuchte von 12% auf.

- Feuchteklasse 1 - Auf Gebrauchsfeuchte vorkonditioniert \rightarrow Kriechzahl $\varphi = 0.60$

Eigengewicht und Auflast

Eigengewicht und Auflast sind ständig vorhanden und werden nicht reduziert.

Der Faktor inkl. Kriechanteil wird so wie folgt bestimmt:

$$w_{\infty,q_a} = (1 + \varphi) \cdot w_{0,q_a}$$

$$w_{\infty,q_a} = (1 + 0.60) \cdot w_{0,q_a}$$

$$w_{\infty,q_a} = 1.60 \cdot w_{0,q_a}$$

Nutzlast als Leiteinwirkung

Bei Nutzlast Kat. A wirkt ein Anteil von 0.3 ständig, beziehungsweise kriechwirksam:
Der Faktor inkl. Kriechanteil wird so wie folgt bestimmt:

$$w_{\infty,qp} = \left(1 + \varphi * \frac{\psi_2 \cdot q_p}{\psi_1 \cdot q_p}\right) \cdot w_{0,qp} \quad w_{\infty,qp} = \left(1 + 0.60 * \frac{0.3 \cdot q_p}{0.5 \cdot q_p}\right) \cdot w_{0,qp} \quad w_{\infty,qp} = 1.36 \cdot w_{0,qp}$$

Schnee als Begleiteinwirkung

Bei Schnee ($h_0 < 1000$ müM) ist der ständige Anteil 0 und somit ergibt sich aus Kriechen keine relevante Erhöhung der Durchbiegung:

Der Faktor inkl. Kriechanteil wird so wie folgt bestimmt:

$$w_{\infty,qs} = \left(1 + \varphi * \frac{\psi_2 \cdot q_s}{\psi_2 \cdot q_s}\right) \cdot w_{0,qs} \quad w_{\infty,qs} = \left(1 + 0.60 * \frac{0.0 \cdot q_s}{0.0 \cdot q_s}\right) \cdot w_{0,qs} \quad w_{\infty,qs} = 1.00 \cdot w_{0,qs}$$

Kombination Lastbeiwerte mit Kriechanteil

Da ein linearer Zusammenhang besteht, können die Lastbeiwerte der Bemessungssituation GT-2 direkt mit den Erhöhungsfaktoren kombiniert werden:

Ausgangslage: Zeitpunkt $t = 0$

$$w_0 = 1.0 \cdot w_{0,qa} + 0.5 \cdot w_{0,qp} + 0.0 \cdot w_{0,qs}$$

Zum Zeitpunkt $t = \infty$

$$w_{\infty} = 1.0 \cdot w_{\infty,qa} + 0.5 \cdot w_{\infty,qp} + 0.0 \cdot w_{\infty,qs}$$

$$w_{\infty} = 1.0 \cdot 1.60 \cdot w_{0,qa} + 0.5 \cdot 1.36 \cdot w_{0,qp} + 0.0 \cdot 1.00 \cdot w_{0,qs} \quad w_{\infty} = 1.60 \cdot w_{0,qa} + 0.68 \cdot w_{0,qp} + 0.0 \cdot w_{0,qs}$$

In der Schreibweise von **Staufffer Static** werden die Lastbeiwerte für diese Bemessungssituation wie folgt gewählt:

$$w_{\infty} = Y_{g+a,GT} \cdot w_{0,qa} + Y_{p,GT} \cdot w_{0,qp} + Y_{s,GT} \cdot w_{0,qs} \quad w_{\infty} = 1.60 \cdot w_{0,qa} + 0.68 \cdot w_{0,qp} + 0.00 \cdot w_{0,qs}$$

Gebrauchstauglichkeit	
inkl. Kriechanteile	
Durchbiegungsanforderung	
1 /	350
Lastbeiwerte	
$Y_{g+a,GT}$	1.60
$Y_{p,GT}$	0.68
$Y_{s,GT}$	0.00

Diese Faktoren werden nun im Menu «Faktoren & Anforderungen» erfasst. Dabei wird die Durchbiegung aus der eingegebenen Belastung linear mit dem entsprechenden Faktor multipliziert.

Anschliessend wird das Resultat mit den entsprechenden Spannweiten abgeglichen und geprüft ob auf der Basis dieser Bemessungssituation der Richtwert der Durchbiegung von $w_{\infty} \leq l/350$ eingehalten ist.

4.3.4 Bemessungssituation GT-4

- Richtwert der Durchbiegung $w \leq l/300$
- Aussehen
- Reversible Folgen einer Auswirkung infolge eines quasi-ständigen Lastfalls / Lastkombination

Situationen, welche mit GT-4 abgedeckt werden, können als Beispiel sein:

Bauteil verformungsempfindliche Einbaute	Prüfung Beispiel	Reversible Folgen	Massnahmen / Bemerkung Last aufbringen: z.B. Begrünung / Unterlagsboden)
Dachbalken	Durchbiegung im Feld	Unüblich starke Durchbiegung sichtbar	

Einwirkung der Bemessungssituation

Die allgemeine Formel für die Kombination der Bemessungssituationen GT-4, seiner Lastbeiwerte und damit der Bemessungs-Einwirkung lautet:

$$Q_{Ed} = G_{ki} + \psi_{2i} \cdot Q_{ki}$$

Eigengewicht und Auflast

keine Leiteinwirkung

Einwirkung(en)

Lastbeiwerte für Eigengewicht & Auflast sind in der Formel nicht enthalten und werden so gedanklich zu 1.0 gesetzt:

$$Q_{Ed} = \gamma_G \cdot G_{ki} + \psi_{2i} \cdot Q_{ki} = Q_{Ed} = 1.0 \cdot G_{ki} + \psi_{2i} \cdot Q_{ki}$$

In der Schreibweise von **Staufffer Static** am folgenden Beispiel:

- Linienlast
- Eigengewicht & Auflast
- Nutzlast ($\psi_2 = 0.30$)
- Begleiteinwirkung Schnee ($h_0 = 600 \text{ müM} \rightarrow \psi_2 = 0$)

$$q_{Ed} = 1.0 \cdot q_a + 0.3 \cdot q_p + 0.0 \cdot q_s$$

In der statischen Berechnung nach **Staufffer Static** wird 1. Ordnung gerechnet. Es besteht so ein linearer Zusammenhang zwischen der Einwirkung q_a (Last aus Eigengewicht & Auflast) und der zugehörigen Durchbiegung w_{0,q_a} , etc. Dies gilt auch für das Verhältnis von q_{aEd} und der Durchbiegung w_0 .

Damit wird die «Elastische Verformung» w_0 zum Zeitpunkt $t=0$ (ohne Kriechen):

$$w_0 = 1.0 \cdot w_{0,q_a} + 0.3 \cdot w_{0,q_p} + 0.0 \cdot w_{0,q_s}$$

Die Lastbeiwerte für Begleiteinwirkungen entsprechen ebenfalls den ψ_2 -Reduktionsbeiwerte nach SIA 260:2013 - Tabelle 2 analog den vorangehenden Beispielen.

Berücksichtigung des Kriechanteils

Für jeden Lastfall $g+a$, p , und s müssen die Kriechanteile bestimmt werden. Diese werden als Erhöhungsfaktor der Durchbiegung zum Zeitpunkt $t=0$ berechnet.

Annahmen zum Beispiel:

Bauteil wird im Innenbereich eingesetzt und weist beim Einbau eine Holzfeuchte von 12% auf.

- Feuchteklasse 1 - Auf Gebrauchsfeuchte vorkonditioniert \rightarrow Kriechzahl $\varphi = 0.60$

Eigengewicht und Auflast

Eigengewicht und Auflast sind ständig vorhanden und werden nicht reduziert.

Der Faktor inkl. Kriechanteil wird so wie folgt bestimmt:

$$w_{\infty,qa} = (1 + \varphi) \cdot w_{0,qa} \qquad w_{\infty,qa} = (1 + 0.60) \cdot w_{0,qa} \qquad w_{\infty,qa} = 1.60 \cdot w_{0,qa}$$

Nutzlast als Einwirkung

Bei Nutzlast Kat. A wirkt ein Anteil von 0.3 ständig und davon ist 100% dieser Belastung kriechwirksam:

Der Faktor inkl. Kriechanteil wird so wie folgt bestimmt:

$$w_{\infty,qp} = \left(1 + \varphi \cdot \frac{\psi_2 \cdot q_p}{\psi_2 \cdot q_p}\right) \cdot w_{0,qp} \qquad w_{\infty,qp} = \left(1 + 0.60 \cdot \frac{0.3 \cdot q_p}{0.3 \cdot q_p}\right) \cdot w_{0,qp} \qquad w_{\infty,qp} = 1.60 \cdot w_{0,qp}$$

Schnee als Einwirkung

Bei Schnee ($h_0 < 1000$ müM) ist der ständige Anteil 0 und somit ergibt sich aus Kriechen keine relevante Erhöhung der Durchbiegung:

Der Faktor inkl. Kriechanteil wird so wie folgt bestimmt:

$$w_{\infty,qs} = \left(1 + \varphi \cdot \frac{\psi_2 \cdot q_s}{\psi_2 \cdot q_s}\right) \cdot w_{0,qs} \qquad w_{\infty,qs} = \left(1 + 0.60 \cdot \frac{0.0 \cdot q_s}{0.0 \cdot q_s}\right) \cdot w_{0,qs} \qquad w_{\infty,qs} = 1.00 \cdot w_{0,qs}$$

Kombination Lastbeiwerte mit Kriechanteil

Da ein linearer Zusammenhang besteht, können die Lastbeiwerte der Bemessungssituation GT-4 direkt mit den Erhöhungsfaktoren kombiniert werden:

Ausgangslage: Zeitpunkt $t = 0$

$$w_0 = 1.0 \cdot w_{0,qa} + 0.3 \cdot w_{0,qp} + 0.0 \cdot w_{0,qs}$$

Zum Zeitpunkt $t = \infty$

$$w_{\infty} = 1.0 \cdot w_{\infty,qa} + 0.3 \cdot w_{\infty,qp} + 0.0 \cdot w_{\infty,qs}$$

$$w_{\infty} = 1.0 \cdot 1.60 \cdot w_{0,qa} + 0.3 \cdot 1.60 \cdot w_{0,qp} + 0.0 \cdot 1.00 \cdot w_{0,qs} \qquad w_{\infty} = 1.60 + 0.48 \cdot w_{0,qp} + 0.0 \cdot w_{0,qs}$$

In der Schreibweise von **Stauffer Static** werden die Lastbeiwerte für diese Bemessungssituation wie folgt gewählt:

$$w_{\infty} = \gamma_{g+a,GT} \cdot w_{0,qa} + \gamma_{p,GT} \cdot w_{0,qp} + \gamma_{s,GT} \cdot w_{0,qs} \qquad w_{\infty} = 1.60 \cdot w_{0,qa} + 0.48 \cdot w_{0,qp} + 0.00 \cdot w_{0,qs}$$

Gebrauchstauglichkeit	
inkl. Kriechanteile	
Durchbiegungsanforderung	
1 / 300	 
Lastbeiwerte	
$\gamma_{g+a,GT}$	1.60 
$\gamma_{p,GT}$	0.48  
$\gamma_{s,GT}$	0.00  

Diese Faktoren werden nun im Menu «Faktoren & Anforderungen» erfasst. Dabei wird die Durchbiegung aus der eingegebenen Belastung linear mit dem entsprechenden Faktor multipliziert.

Anschliessend wird das Resultat mit den entsprechenden Spannweiten abgeglichen und geprüft ob auf der Basis dieser Bemessungssituation der Richtwert der Durchbiegung von $w_{\infty} \leq l/300$ eingehalten ist.

5 Lastbeiwerte GT - Anwendung in Stauffer Static

5.1 Anwendung in Stauffer Static – Eigene Berechnung

Beispiel an einem Holzbalken als Einfeldträger mit 3.7m Spannweite der Klasse C24 und der Dimension 100/240mm

GT-2: Funktionstüchtigkeit bei Tragwerken mit nicht verformungsempfindlichen Einbauten – Reversible Folgen einer Auswirkung infolge eines häufigen Lastfalls $\rightarrow w \leq l/350$

- Eigengewicht & Auflast $q_a = 2.5 \text{ kN/m}^1$
- Leiteinwirkung Nutzlast ($\psi_1 = 0.50$) $q_p = 2.0 \text{ kN/m}^1$
- Begleiteinwirkung Schnee ($h_0 = 600 \text{ müM} \rightarrow \psi_2 = 0$) $q_s = 1.0 \text{ kN/m}^1$
- Feuchteklasse 1 - Auf Gebrauchsfeuchte vorkonditioniert \rightarrow Kriechzahl $\varphi = 0.60$

Eigengewicht und Auflast

Eigengewicht und Auflast sind ständig vorhanden und werden nicht reduziert.

Der Faktor inkl. Kriechanteil wird so wie folgt bestimmt:

$$w_{\infty,qa} = (1 + \varphi) \cdot w_{0,qa} \quad w_{\infty,qa} = (1 + 0.60) \cdot w_{0,qa} \quad w_{\infty,qa} = 1.60 \cdot w_{0,qa}$$

Nutzlast als Leiteinwirkung

Bei Nutzlast Kat. A wirkt ein Anteil von 0.3 ständig, beziehungsweise kriechwirksam:

Der Faktor inkl. Kriechanteil wird so wie folgt bestimmt:

$$w_{\infty,qp} = \left(1 + \varphi \cdot \frac{\psi_2 \cdot q_p}{\psi_1 \cdot q_p}\right) \cdot w_{0,qp} \quad w_{\infty,qp} = \left(1 + 0.60 \cdot \frac{0.3 \cdot q_p}{0.5 \cdot q_p}\right) \cdot w_{0,qp} \quad w_{\infty,qp} = 1.36 \cdot w_{0,qp}$$

Schnee als Begleiteinwirkung

Bei Schnee ($h_0 < 1000 \text{ müM}$) ist der ständige Anteil 0 und somit ergibt sich aus Kriechen keine relevante Erhöhung der Durchbiegung:

Der Faktor inkl. Kriechanteil wird so wie folgt bestimmt:

$$w_{\infty,qs} = \left(1 + \varphi \cdot \frac{\psi_2 \cdot q_s}{\psi_2 \cdot q_s}\right) \cdot w_{0,qs} \quad w_{\infty,qs} = \left(1 + 0.60 \cdot \frac{0.0 \cdot q_s}{0.0 \cdot q_s}\right) \cdot w_{0,qs} \quad w_{\infty,qs} = 1.00 \cdot w_{0,qs}$$

Kombination Lastbeiwerte mit Kriechanteil

Da ein linearer Zusammenhang besteht, können die Lastbeiwerte der Bemessungssituation GT-2 direkt mit den Erhöhungsfaktoren kombiniert werden:

Ausgangslage: Zeitpunkt $t = 0$

$$w_0 = 1.0 \cdot w_{0,qa} + 0.5 \cdot w_{0,qp} + 0.0 \cdot w_{0,qs}$$

Zum Zeitpunkt $t = \infty$

$$w_{\infty} = 1.0 \cdot w_{\infty,qa} + 0.5 \cdot w_{\infty,qp} + 0.0 \cdot w_{\infty,qs}$$

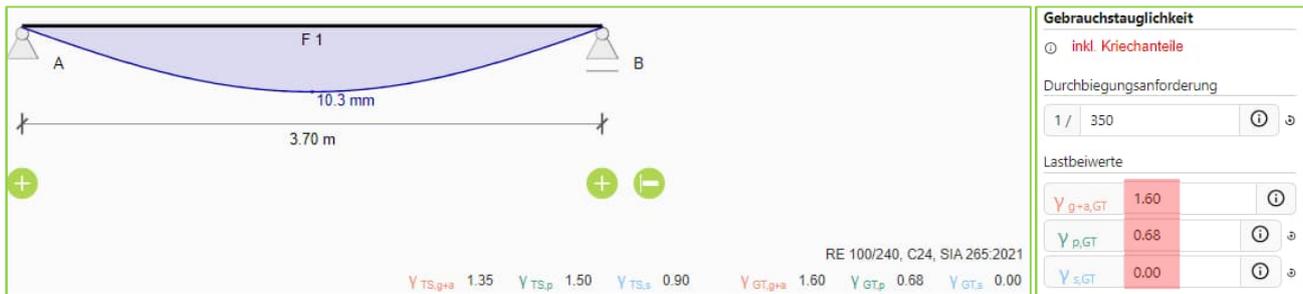
$$w_{\infty} = 1.0 \cdot 1.60 \cdot w_{0,qa} + 0.5 \cdot 1.36 \cdot w_{0,qp} + 0.0 \cdot 1.00 \cdot w_{0,qs}$$

$$w_{\infty} = 1.60 \cdot w_{0,qa} + 0.68 \cdot w_{0,qp} + 0.0 \cdot w_{0,qs}$$

In der Schreibweise von Stauffer Static werden die Lastbeiwerte für diese Bemessungssituation wie folgt gewählt:

$$w_{\infty} = \gamma_{g+a,GT} \cdot w_{0,qa} + \gamma_{p,GT} \cdot w_{0,qp} + \gamma_{s,GT} \cdot w_{0,qs} \quad w_{\infty} = 1.60 \cdot w_{0,qa} + 0.68 \cdot w_{0,qp} + 0.00 \cdot w_{0,qs}$$

Diese Faktoren werden nun im Menu «Faktoren & Anforderungen» eingegeben. Das Resultat stimmt mit 10.3mm den vorangehenden Methoden überein.



In der Anwendung nach **HBStatic** muss der k-Faktor bei jedem Balken individuell berechnet werden, weil dieser von den Lastgrößen und dem Verhältnis untereinander abhängt. Mit dem System nach **Stauffer Static** sind diese Faktoren innerhalb derselben Bemessungssituation identisch. Dies erlaubt, die Faktoren in Vorlagen vor einzustellen und bleiben unabhängig vom Betrag von Eigengewicht, Schnee, Wind etc. korrekt. **Diese Faktoren können so über Tabellen als fixe Werte dargestellt werden.**

5.2 Anwendung in Stauffer Static - Lastbeiwert-Tabellen

Es werden vier Tabellen verwendet. Diese werden nach «Feuchtklasse» und «Auf Gebrauchsfeuchte vorkonditioniert» unterschieden, was zu unterschiedlichen Kriechzahlen führt.

Tab. 01 – Feuchtklasse 1 – Auf Gebrauchsfeuchte vorkonditioniert

Tab. 02 – Feuchtklasse 2 – Auf Gebrauchsfeuchte vorkonditioniert

Tab. 03 – Feuchtklasse 1 – Angetrocknet oder feucht eingebautes Holz

Tab. 04 – Feuchtklasse 2 – Angetrocknet oder feucht eingebautes Holz (oder Feuchtklasse 3)

Beispiel 1

Holzbalken als Einfeldträger mit 3.7m Spannweite der Klasse C24 und der Dimension 100/300mm

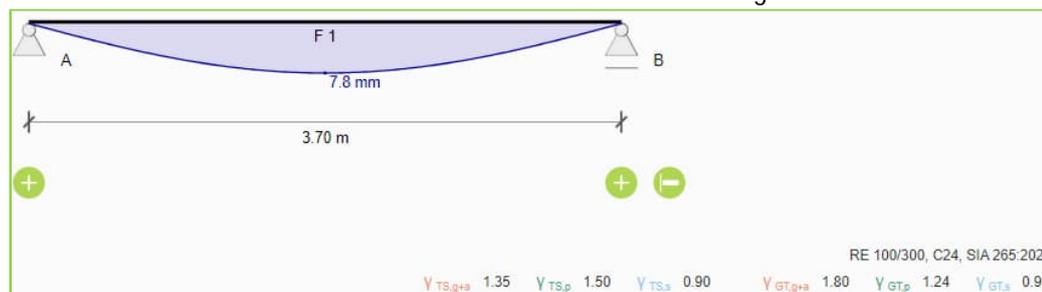
GT-1: Funktionstüchtigkeit bei Tragwerken mit verformungsempfindlichen Einbauten – Irreversible Folgen einer Auswirkung infolge eines häufigen Lastfalls → $w \leq l/500$

- Eigengewicht & Auflast $q_a = 2.5 \text{ kN/m}^1$
- Leiteinwirkung Nutzlast ($\psi_0 = 0.70$) $q_p = 2.0 \text{ kN/m}^1$
- Begleiteinwirkung Schnee ($h_0 = 600 \text{ müM} \rightarrow \psi_0 = 0.90$) $q_s = 1.0 \text{ kN/m}^1$
- Feuchtklasse 2 - Auf Gebrauchsfeuchte vorkonditioniert

Tab.02 - Feuchtklasse 2 - Auf Gebrauchsfeuchte vorkonditioniert

Lastbeiwerte der Einwirkung γ_{GT}				Feuchtklasse 2 - Auf Gebrauchsfeuchte vorkonditioniert				
inkl. Kriechanteil und Reduktionsfaktoren				GT-1 $w \leq l/500$		GT-2 $w \leq l/350$	GT-4 $w \leq l/300$	
Gemäss nach HBT:2021 - S.13 / S.26 - 27				Funktionstüchtigkeit mit verformungsempfindlichen Einbauten		Funktionstüchtigkeit mit nicht verformungsempfindlichen Einbauten		Aussehen
FKL = Feuchtklasse φ = Richtwert der Kriechzahl	Allgemeine Formel:			Leiteinwirkung $1^* \cdot Q_{k1}$	Begleiteinwirkung $\psi_{0i} \cdot Q_{ki}$	Leiteinwirkung $\psi_1 \cdot Q_{k1}$	Begleiteinwirkung $\psi_{2i} \cdot Q_{ki}$	Alle Einwirkungen $\psi_{2i} \cdot Q_{ki}$
	vereinfacht:			$w_{\infty} = [1 + (\varphi \cdot \psi_2 / f)] \cdot (1 \cdot w_0)$	$w_{\infty} = [1 + (\varphi \cdot \psi_2 / \psi_{0i})] \cdot (\psi_{0i} \cdot w_0)$	$w_{\infty} = [1 + (\varphi \cdot \psi_2 / \psi_1)] \cdot (\psi_1 \cdot w_0)$	$w_{\infty} = [1 + \varphi \cdot \psi_2 / \psi_2] \cdot (\psi_2 \cdot w_0)$	$w_{\infty} = [1 + \varphi \cdot \psi_2 / \psi_2] \cdot (\psi_2 \cdot w_0)$
	Reduktionsbeiwert			$w_{\infty} = [1 + \varphi \cdot \psi_2] \cdot w_0$	$w_{\infty} = [\psi_0 + \varphi \cdot \psi_2] \cdot w_0$	$w_{\infty} = [\psi_1 + \varphi \cdot \psi_2] \cdot w_0$	$w_{\infty} = [\psi_2 \cdot (1 + \varphi)] \cdot w_0$	$w_{\infty} = [\psi_2 \cdot (1 + \varphi)] \cdot w_0$
	ψ_0	ψ_1	ψ_2	FKL2	FKL2	FKL2	FKL2	FKL2
Einwirkungen	seltener	häufig	quasiständig	$\varphi = 0.8$	$\varphi = 0.8$	$\varphi = 0.8$	$\varphi = 0.8$	$\varphi = 0.8$
Eigengewicht und Auflasten	1	1	1	1.80		1.80		1.80
Nutzlasten in Gebäuden								
Kat. A Wohnflächen	0.7	0.5	0.3	1.24	0.94	0.74	0.54	0.54
Kat. B Büroflächen und Schulräume	0.7	0.5	0.3	1.24	0.94	0.74	0.54	0.54
Kat. C Versammlungsräume	0.7	0.7	0.6	1.48	1.18	1.18	1.08	1.08
Kat. D Verkaufsflächen	0.7	0.7	0.6	1.48	1.18	1.18	1.08	1.08
Kat. E Lagerflächen	1	0.9	0.8	1.64	1.64	1.54	1.44	1.44
Verkehrslasten in Gebäuden								
Kat. F Fahrzeuge unter 3.5t	0.7	0.7	0.6	1.48	1.18	1.18	1.08	1.08
Kat. G Fahrzeuge von 3.5 bis 16t	0.7	0.5	0.3	1.24	0.94	0.74	0.54	0.54
Kat. H Dächer	0	0	0	1	0	0	0	0
Schneelasten (bis $h_0=1000\text{m}$)	$1-60/h_0$	$1-250/h_0$	$1-1000/h_0$	1	$1-60/h_0$	$1-250/h_0$	0	0
Windkräfte	0.6	0.5	0	1	0.6	0.5	0	0
Temperatureinwirkungen	0.6	0.5	0	1	0.6	0.5	0	0

Diese Faktoren werden nun im Menu «Faktoren & Anforderungen» erfasst:



Gebrauchstauglichkeit

inkl. Kriechanteile

Durchbiegungsanforderung

1 / 500

Lastbeiwerte

$\gamma_{g+s,GT}$ 1.80

$\gamma_{p,GT}$ 1.24

$\gamma_{s,GT}$ 0.90

$w_{\infty} = 7.8\text{mm}$

Beispiel 2

Holzbalken als Einfeldträger mit 3.7m Spannweite der Klasse C24 und der Dimension 100/240mm

GT-2: Funktionstüchtigkeit bei Tragwerken mit nicht verformungsempfindlichen Einbauten – Reversible Folgen einer Auswirkung infolge eines häufigen Lastfalls → $w \leq l/350$

- Eigengewicht & Auflast $q_a = 2.5 \text{ kN/m}^1$
- Leiteinwirkung Nutzlast ($\psi_1 = 0.50$) $q_p = 2.0 \text{ kN/m}^1$
- Begleiteinwirkung Schnee ($h_0 = 600 \text{ müM} \rightarrow \psi_2 = 0$) $q_s = 1.0 \text{ kN/m}^1$
- Feuchteklasse 1 - Auf Gebrauchsfeuchte vorkonditioniert

Tab.01 - Feuchteklasse 1 - Auf Gebrauchsfeuchte vorkonditioniert

Lastbeiwerte der Einwirkung $v_{i,GT}$				Feuchteklasse 1 - Auf Gebrauchsfeuchte vorkonditioniert				
inkl. Kriechanteil und Reduktionsfaktoren				GT-1 $w \leq l/500$		GT-2 $w \leq l/350$		GT-4 $w \leq l/300$
Gemäss nach HBT-2021 - S.13 / S.26 - 27				Funktionstüchtigkeit mit verformungsempfindlichen Einbauten		Funktionstüchtigkeit mit nicht verformungsempfindlichen Einbauten		Aussehen
FKL = Feuchteklasse φ = Richtwert der Kriechzahl				Leiteinwirkung $1^* Q_{k1}$	Begleiteinwirkung $\psi_{01} \times Q_{k2}$	Leiteinwirkung $\psi_1 \times Q_{k1}$	Begleiteinwirkung $\psi_{21} \times Q_{k1}$	Alle Einwirkungen $\psi_{21} \times Q_{k1}$
Allgemeine Formel:				$w_{\infty} = [1 + (\varphi * \psi_2 / 1)] * (1^* w_0)$	$w_{\infty} = [1 + (\varphi * \psi_2 / \psi_0)] * (\psi_0 * w_0)$	$w_{\infty} = [1 + (\varphi * \psi_2 / \psi_1)] * (\psi_1 * w_0)$	$w_{\infty} = [1 + \varphi * \psi_2 / \psi_2] * (\psi_2 * w_0)$	$w_{\infty} = [1 + \varphi * \psi_2 / \psi_2] * (\psi_2 * w_0)$
vereinfacht:				$w_{\infty} = [1 + \varphi * \psi_2] * w_0$	$w_{\infty} = [\psi_0 + \varphi * \psi_2] * w_0$	$w_{\infty} = [\psi_1 + \varphi * \psi_2] * w_0$	$w_{\infty} = [\psi_2 * (1 + \varphi)] * w_0$	$w_{\infty} = [\psi_2 * (1 + \varphi)] * w_0$
Reduktionsbeiwert				FKL 1	FKL 1	FKL 1	FKL 1	FKL 1
ψ_0	ψ_1	ψ_2						
seltener	häufig	quasiständig		$\varphi = 0.6$	$\varphi = 0.6$	$\varphi = 0.6$	$\varphi = 0.6$	$\varphi = 0.6$
Eigengewicht und Auflasten				1.60		1.60		1.60
Nutzlasten in Gebäuden								
Kat. A Wohnflächen	0.7	0.5	0.3	1.18	0.88	0.68	0.48	0.48
Kat. B Büroflächen und Schulräume	0.7	0.5	0.3	1.18	0.88	0.68	0.48	0.48
Kat. C Versammlungsräume	0.7	0.7	0.6	1.36	1.06	1.06	0.96	0.96
Kat. D Verkaufsflächen	0.7	0.7	0.6	1.36	1.06	1.06	0.96	0.96
Kat. E Lagerflächen	1	0.9	0.8	1.48	1.48	1.38	1.28	1.28
Verkehrslasten in Gebäuden								
Kat. F Fahrzeuge unter 3.5t	0.7	0.7	0.6	1.36	1.06	1.06	0.96	0.96
Kat. G Fahrzeuge von 3.5 bis 16t	0.7	0.5	0.3	1.18	0.88	0.68	0.48	0.48
Kat. H Dächer	0	0	0	1	0	0	0	0
Schneelasten (bis $h_0=1000\text{m}$)	$1-60/h_0$	$1-250/h_0$	$1-1000/h_0$	1	$1-60/h_0$	$1-250/h_0$	0	0
Windkräfte	0.6	0.5	0	1	0.6	0.5	0	0
Temperatureinwirkungen				1	0.6	0.5	0	0

Diese Faktoren werden nun im Menu «Faktoren & Anforderungen» erfasst:

$w_{\infty} = 10.3\text{mm}$ und stimmt mit dem Beispiel im vorangehenden Kapitel «Eigene Berechnung» überein.

Beispiel 3

Holz balken als Einfeldträger mit 3.7m Spannweite der Klasse C24 und der Dimension 100/240mm

GT-4: Aussehen - Reversible Folgen einer Auswirkung infolge eines quasi-ständigen Lastfalls → $w \leq l/300$

- Eigengewicht & Auflast $q_a = 2.5 \text{ kN/m}^1$
- Leiteinwirkung Nutzlast ($\psi_0 = 0.70$) $q_p = 2.0 \text{ kN/m}^1$
- Begleiteinwirkung Schnee ($h_0 = 600 \text{ müM} \rightarrow \psi_2 = 0.0$) $q_s = 1.0 \text{ kN/m}^1$
- Feuchteklasse 2 - Auf Gebrauchsfeuchte vorkonditioniert

Tab.02 - Feuchteklasse 2 - Auf Gebrauchsfeuchte vorkonditioniert

Lastbeiwerte der Einwirkung $\gamma_{L,GT}$				Feuchteklasse 2 - Auf Gebrauchsfeuchte vorkonditioniert				
inkl. Kriechanteil und Reduktionsfaktoren				GT-1 $w \leq l/500$		GT-2 $w \leq l/350$		GT-4 $w \leq l/300$
Gemäss nach HBT:2021 - S.13 / S.26 - 27				Funktionstüchtigkeit mit verformungsempfindlichen Einbauten		Funktionstüchtigkeit mit nicht verformungsempfindlichen Einbauten		Aussehen
FKL = Feuchteklasse φ = Richtwert der Kriechzahl				Leiteinwirkung $1^* Q_{k1}$	Begleiteinwirkung $\psi_{0i} \times Q_{ki}$	Leiteinwirkung $\psi_1 \times Q_{k1}$	Begleiteinwirkung $\psi_{2i} \times Q_{ki}$	Alle Einwirkungen $\psi_{2i} \times Q_{ki}$
Allgemeine Formel: vereinfacht: Reduktionsbeiwert				$W_{in} = [1 + (\varphi * \psi_2 / 1)] * (1 * W_0)$ $W_{in} = [1 + \varphi * \psi_2] * W_0$	$W_{in} = [1 + (\varphi * \psi_2 / \psi_0)] * (\psi_0 * W_0)$ $W_{in} = [\psi_0 + \varphi * \psi_2] * W_0$	$W_{in} = [1 + (\varphi * \psi_2 / \psi_1)] * (\psi_1 * W_0)$ $W_{in} = [\psi_1 + \varphi * \psi_2] * W_0$	$W_{in} = [1 + \varphi * \psi_2 / \psi_2] * (\psi_2 * W_0)$ $W_{in} = [\psi_2 * (1 + \varphi)] * W_0$	$W_{in} = [1 + \varphi * \psi_2 / \psi_2] * (\psi_2 * W_0)$ $W_{in} = [\psi_2 * (1 + \varphi)] * W_0$
ψ_0	ψ_1	ψ_2		FKL 2	FKL 2	FKL 2	FKL 2	FKL 2
Einwirkungen	selten	häufig	quasiständig	$\varphi = 0.8$	$\varphi = 0.8$	$\varphi = 0.8$	$\varphi = 0.8$	$\varphi = 0.8$
Eigengewicht und Auflasten	1	1	1	1.80		1.80		1.80
Nutzlasten in Gebäuden								
Kat. A Wohnflächen	0.7	0.5	0.3	1.24	0.94	0.74	0.54	0.54
Kat. B Büroflächen und Schulräume	0.7	0.5	0.3	1.24	0.94	0.74	0.54	0.54
Kat. C Versammlungsräume	0.7	0.7	0.6	1.48	1.18	1.18	1.08	1.08
Kat. D Verkaufsflächen	0.7	0.7	0.6	1.48	1.18	1.18	1.08	1.08
Kat. E Lagerflächen	1	0.9	0.8	1.64	1.64	1.54	1.44	1.44
Verkehrslasten in Gebäuden								
Kat. F Fahrzeuge unter 3.5t	0.7	0.7	0.6	1.48	1.18	1.18	1.08	1.08
Kat. G Fahrzeuge von 3.5 bis 16t	0.7	0.5	0.3	1.24	0.94	0.74	0.54	0.54
Kat. H Dächer	0	0	0	1	0	0	0	0
Schneelasten (bis $h_0=1000m$)	$1-60/h_0$	$1-250/h_0$	$1-1000/h_0$	1	$1-60/h_0$	$1-250/h_0$	0	0
Windkräfte	0.6	0.5	0	1	0.6	0.5	0	0
Temperatureinwirkungen	0.6	0.5	0	1	0.6	0.5	0	0

Diese Faktoren werden nun im Menu «Faktoren & Anforderungen» erfasst.

$w_{\infty} = 10.7mm$

5.3 Anlehnung an HBStatic

Beispiel 1

Holz balken als Einfeldträger mit 3.7m Spannweite der Klasse C24 und der Dimension 100/300mm

GT-1: Funktionstüchtigkeit bei Tragwerken mit verformungsempfindlichen Einbauten – Irreversible Folgen einer Auswirkung infolge eines häufigen Lastfalls → $w \leq l/500$

- Eigengewicht & Auflast $q_a = 2.5 \text{ kN/m}^1$
- Leiteinwirkung Nutzlast ($\psi_0 = 0.70$) $q_p = 2.0 \text{ kN/m}^1$
- Begleiteinwirkung Schnee ($h_0 = 600 \text{ müM} \rightarrow \psi_0 = 0.90$) $q_s = 1.0 \text{ kN/m}^1$
- Feuchteklasse 2 - Auf Gebrauchsfeuchte vorkonditioniert → Kriechzahl $\varphi = 0.80$

Bestimmung vom Kriechfaktor k wie bisher im HBStatic:

Allgemeine Formel (HBT1:2021 - S.13) $Q_{Ed} = G_{ki} + Q_{k1} + \psi_{0i} \cdot Q_{ki}$

Kriechen nach HBT1:2021 – S.26: $w_{\infty} = \left(1 + \varphi \cdot \frac{F_{\varphi}}{F}\right) \cdot w_0$

Wobei der Klammerausdruck in HBStatic durch den Kriechfaktor «k» ersetzt wird: $w_{\infty} = k \cdot w_0$

Die Bestimmung von «k» erfolgt inkl. der Anpassung der Lasten-Schreibweise nach Stauffer Static: Einwirkungen in der Verformungsberechnung:

$F = q_a + q_p + \psi_0 \cdot q_s$ $F = 2.5 + 2.0 + 0.9 \cdot 1.0 = 5.4 \text{ kN/m}^2$

Kriechwirksamer Anteil der Einwirkungen in der Verformungsberechnung:

$F_{\varphi} = \psi_2 \cdot q_a + \psi_2 \cdot q_p + \psi_2 \cdot q_s$ $F_{\varphi} = 1.0 \cdot 2.5 + 0.3 \cdot 2.0 + 0.0 \cdot 1.0 = 3.1 \text{ kN/m}^2$

$k = \left(1 + \varphi \cdot \frac{F_{\varphi}}{F}\right)$ $k = \left(1 + 0.8 \cdot \frac{3.1}{5.4}\right) = 1.46$ $w_{\infty} = 1.46 \cdot w_0 = 7.80 \text{ mm}$

The screenshot shows the software interface with the following data:

- Beiwerte (eta w * eta t):** 1
- Kriechfaktor k:** 1.46
- Zulässige Durchbiegung L/:** 500
- fm,d [N/mm²]:** 14.10
- E [kN/mm²]:** 11.00
- fv,d [N/mm²]:** 1.50
- Beiwerte TS:** 0.9, 1.5, 1.35
- Beiwerte GT:** 0.9, 1, 1
- Zusatzlast = Schnee**
- Nutzlast**
- Ständige Last**
- für Stauffer Static:**
 - $Y_{s,GT} = 1.46 \times 0.9 = 1.31$
 - $Y_{p,GT} = 1.46 \times 1.0 = 1.46$
 - $Y_{g+a,GT} = 1.46 \times 1.0 = 1.46$

Die Vorgehensweise kann in Stauffer Static sinngemäss übernommen werden. Der Faktor k wird bei allen Lastbeiwerten berücksichtigt. Hierzu muss k zusätzlich mit den GT-Beiwerten multipliziert eingesetzt werden:

The diagram shows a beam of length 3.70 m with a load F 1. The deflection is indicated as 7.8 mm. The software settings for 'Gebrauchstauglichkeit' are:

- Inkl. Kriechanteile:** checked
- Durchbiegungsanforderung:** 1 / 500
- Lastbeiwerte:**
 - $Y_{g+a,GT}$: 1.46
 - $Y_{p,GT}$: 1.46
 - $Y_{s,GT}$: 1.31

Additional values shown at the bottom: $Y_{TS,g+a}$ 1.35, $Y_{TS,p}$ 1.50, $Y_{TS,s}$ 0.90, $Y_{GT,g+a}$ 1.46, $Y_{GT,p}$ 1.46, $Y_{GT,s}$ 1.31

Im Vergleich mit «Beispiel 1 – Lastbeiwert-Tabellen» stimmt die berechnete Durchbiegung $w_{\infty} = 7.8\text{mm}$ überein.

Beispiel 2

Holzbalken als Einfeldträger mit 3.7m Spannweite der Klasse C24 und der Dimension 100/240mm

GT-2: Funktionstüchtigkeit bei Tragwerken mit nicht verformungsempfindlichen Einbauten – Reversible Folgen einer Auswirkung infolge eines häufigen Lastfalls → $w \leq l/350$

- Eigengewicht & Auflast $q_a = 2.5 \text{ kN/m}^1$
- Leiteinwirkung Nutzlast ($\psi_1 = 0.50$) $q_p = 2.0 \text{ kN/m}^1$
- Begleiteinwirkung Schnee ($h_0 = 600 \text{ müM} \rightarrow \psi_2 = 0$) $q_s = 1.0 \text{ kN/m}^1$
- Feuchteklasse 1 - Auf Gebrauchsfeuchte vorkonditioniert → Kriechzahl $\varphi = 0.60$

Bestimmung vom Kriechfaktor k wie bisher im HBStatic:

Allgemeine Formel (HBT1:2021 - S.13) $Q_{Ed} = G_{ki} + \psi_1 \cdot Q_{k1} + \psi_{2i} \cdot Q_{ki}$

Kriechen nach HBT1:2021 - S.26: $w_\infty = \left(1 + \varphi \cdot \frac{F_\varphi}{F}\right) \cdot w_0$

Wobei der Klammerausdruck in HBStatic durch den Kriechfaktor «k» ersetzt wird: $w_\infty = k \cdot w_0$

Die Bestimmung von «k» erfolgt inkl. der Anpassung der Lasten-Schreibweise nach Stauffer Static: Einwirkungen in der Verformungsberechnung:

$F = q_a + \psi_1 \cdot q_p + \psi_2 \cdot q_s$ $F = 2.5 + 0.5 \cdot 2.0 + 0.0 \cdot 1.0 = 3.5 \text{ kN/m}^2$

Kriechwirksamer Anteil der Einwirkungen in der Verformungsberechnung:

$F_\varphi = \psi_2 \cdot q_a + \psi_2 \cdot q_p + \psi_2 \cdot q_s$ $F_\varphi = 1.0 \cdot 2.5 + 0.3 \cdot 2.0 + 0.0 \cdot 1.0 = 3.1 \text{ kN/m}^2$

$k = \left(1 + \varphi \cdot \frac{F_\varphi}{F}\right)$ $k = \left(1 + 0.6 \cdot \frac{3.1}{3.5}\right) = 1.53$ $w_\infty = 1.53 \cdot w_0 = 10.3 \text{ mm}$

The screenshot shows the software interface with the following data:

- Beiwerte (eta w^ eta t): 1
- Kriechfaktor k: 1.53
- Zulässige Durchbiegung L/l: 350
- fm,d [N/mm²]: 14.10
- E [kN/mm²]: 11.00
- fv,d [N/mm²]: 1.50

Load combination table:

TS	GT
0.9	0
1.5	0.5
1.35	1

Additional values: Zusatzlast = Schnee, Nutzlast, Ständige Last.

für Stauffer Static:

- $\gamma_{s,GT} = 1.53 \times 0.0 = 0.00$
- $\gamma_{p,GT} = 1.53 \times 0.5 = 0.77$
- $\gamma_{g+a,GT} = 1.53 \times 1.0 = 1.53$

Die Vorgehensweise kann in Stauffer Static sinngemäss übernommen werden. Der Faktor k wird bei allen Lastbeiwerten berücksichtigt. Hierzu muss k zusätzlich mit den GT-Beiwerten multipliziert eingesetzt werden:

The diagram shows a beam of length 3.70 m with a deflection of 10.3 mm. The load combination table is as follows:

Gebrauchstauglichkeit	
inkl. Kriechanteile	
Durchbiegungsanforderung: 1 / 350	
Lastbeiwerte	
$\gamma_{g+a,GT}$	1.53
$\gamma_{p,GT}$	0.77
$\gamma_{s,GT}$	0.00

Additional values: $\gamma_{TS,g+a} = 1.35$, $\gamma_{TS,p} = 1.50$, $\gamma_{TS,s} = 0.90$, $\gamma_{GT,g+a} = 1.53$, $\gamma_{GT,p} = 0.77$, $\gamma_{GT,s} = 0.00$.

Im Vergleich mit «Beispiel 2 – Lastbeiwert-Tabellen» stimmt die berechnete Durchbiegung $w_\infty = 10.3\text{mm}$ überein.

Beispiel 3

Holzbalken als Einfeldträger mit 3.7m Spannweite der Klasse C24 und der Dimension 100/240mm

GT-4: Aussehen - Reversible Folgen einer Auswirkung infolge eines quasi-ständigen Lastfalls → $w \leq l/300$

- Eigengewicht & Auflast $q_a = 2.5 \text{ kN/m}^1$
- Leiteinwirkung Nutzlast ($\psi_0 = 0.70$) $q_p = 2.0 \text{ kN/m}^1$
- Begleiteinwirkung Schnee ($h_0 = 600 \text{ müM} \rightarrow \psi_2 = 0.0$) $q_s = 1.0 \text{ kN/m}^1$
- Feuchteklasse 2 - Auf Gebrauchsfeuchte vorkonditioniert

Bestimmung vom Kriechfaktor k wie bisher im HBStatic:

Allgemeine Formel (HBT1:2021 - S.13) $Q_{Ed} = G_{ki} + \psi_{2i} \cdot Q_{ki}$

Kriechen nach HBT1:2021 - S.26: $w_{\infty} = \left(1 + \varphi \cdot \frac{F_{\varphi}}{F}\right) \cdot w_0$

Wobei der Klammerausdruck in HBStatic durch den Kriechfaktor «k» ersetzt wird: $w_{\infty} = k \cdot w_0$

Die Bestimmung von «k» erfolgt inkl. der Anpassung der Lasten-Schreibweise nach Stauffer Static:

Einwirkungen in der Verformungsberechnung:

$F = q_a + \psi_2 \cdot q_p + \psi_2 \cdot q_s$ $F = 2.5 + 0.3 \cdot 2.0 + 0.0 \cdot 1.0 = 3.1 \text{ kN/m}^2$

Kriechwirksamer Anteil der Einwirkungen in der Verformungsberechnung:

$F_{\varphi} = \psi_2 \cdot q_a + \psi_2 \cdot q_p + \psi_2 \cdot q_s$ $F_{\varphi} = 1.0 \cdot 2.5 + 0.3 \cdot 2.0 + 0.0 \cdot 1.0 = 3.1 \text{ kN/m}^2$

$k = \left(1 + \varphi \cdot \frac{F_{\varphi}}{F}\right)$ $k = \left(1 + 0.8 \cdot \frac{3.1}{3.1}\right) = 1.80$ $w_{\infty} = 1.80 \cdot w_0 = 10.75 \text{ mm}$

The screenshot shows the software interface with the following data:

- Beiwerte (eta w * eta t):** 1
- Kriechfaktor k:** 1.80
- Zulässige Durchbiegung lJ:** 300
- fm,d [N/mm²]:** 14.10
- E [kN/mm²]:** 11.00
- fv,d [N/mm²]:** 1.50

On the right, the load combination is defined as:

- Zusatzlast = Schnee: 0
- Nutzlast: 0.3
- Ständige Last: 1

Below this, the calculation for the deflection factor is shown:

- für Stauffer Static
- $\gamma_{s,GT} = 1.80 \times 0.0 = 0.00$
- $\gamma_{p,GT} = 1.80 \times 0.3 = 0.54$
- $\gamma_{g+a,GT} = 1.80 \times 1.0 = 1.80$

Die Vorgehensweise kann in Stauffer Static sinngemäss übernommen werden. Der Faktor k wird bei allen Lastbeiwerten berücksichtigt. Hierzu muss k zusätzlich mit den GT-Beiwerten multipliziert eingesetzt werden:

The diagram shows a beam of length 3.70 m with a deflection curve. The maximum deflection is indicated as 10.7 mm. Below the diagram, a table lists the load combination factors:

Beiwert	Wert
$\gamma_{g+a,GT}$	1.80
$\gamma_{p,GT}$	0.54
$\gamma_{s,GT}$	0.00

Im Vergleich mit «Beispiel 3 – Lastbeiwert-Tabellen» stimmt die berechnete Durchbiegung $w_{\infty} = 10.7\text{mm}$ überein.